

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2019

Helmi Pitkäniemi

LINEAARISEN LIDAR- SKANNAUSJÄRJESTELMÄN AUTOMAATION JA MEKANIIKAN TOIMINTAKUVAUKSET

– Pääpiirustukset urakkalaskentaa ja
kustannusarviota varten

Helmi Pitkäniemi

LINEAARISEN LIDAR- SKANNAUSJÄRJESTELMÄN AUTOMAATION JA MEKANIIKAN TOIMINTAKUVAUKSET

– Pääpiirustukset urakkalaskentaa ja kustannusarviota varten

Tässä toiminnallisessa opinnäytetyössä suunniteltiin alustavan konseptin pohjalta automaattinen raaka-aineen tilavuuden mittausjärjestelmä. Työ oli osa projektia, jossa suunniteltiin toimeksiantajan kemianteollisuuden asiakkaalle uusi raaka-ainearasto ja -kuljettimet. Alustavassa konseptissa mittaus tehtiin 2D LIDAR-tekniikalla niin, että skanneri liikkuu kiskoilla. Mittaamalla kohteesta useita viipaleita voidaan laskea yhteen koko tilavuus. Järjestelmän suunnittelussa otettiin huomioon haasteellisen kylmät ja pölyävät olosuhteet.

Työn tuloksia ovat automaation ja mekaniikan toimintakuvaudet, mittausmenetelmän tarkkuuden tarkastelu, 3D-malli projektin tehdasmalliin vietyinä, päämittapiirustukset sekä budjettikysely tarvittavista laitteista. Niiden pohjalta saatiin järjestelmästä kustannusarvio, jonka avulla asiakas tekee päätöksen järjestelmän hankinnasta. Suunnitelman odotetaan toteutuvan vuonna 2020. Tulevia vaiheita suunnitelman edistämiseksi ovat detaljisuunnittelu tai vaihtoehtoisten tekniikoiden, esimerkiksi langattoman akkukäytön, tutkiminen.

Suunniteltu järjestelmä voi korvata epätarkan silmämääräisen mittauksen tarkalla automaattisella mittauksella, mikä on luettavissa tehtaan automaatiojärjestelmästä. Tämä on hyödyllistä, koska raaka-ainearaston ajantasainen tilanne saadaan tuotannon, hankinnan ja tuotannosuunnittelun käyttöön. Päätökset voidaan tehdä oikeaan aikaan perustuen todelliseen varastossa olevaan raaka-aineen määrään.

Teoriaosuudessa kuvataan mittalaitteen, 2D-LIDAR-skannerin, toiminta sekä lineaarisen liikkeen mekaniikan ja automaation toiminta. Toiminnallisessa osuudessa sovellettiin valittuja menetelmiä perussuunnitteluun, tehtiin 3D-mallinnus, sekä automaation ja mekaniikan toimintakuvaudet. Työn tietoperusta koostuu alan kirjallisuudesta ja artikkeleista sekä yhteistyötahojen tiedoista ja menetelmistä.

ASIASANAT:

LIDAR, lasersensori, automaatio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2019 | number of pages 25

Helmi Pitkäniemi

FUNCTIONAL DESCRIPTIONS OF THE AUTOMATION AND MECHANICS OF A LINEAR LIDAR SCANNING SYSTEM

– Main drawings for contract calculation and cost estimates

In this functional thesis an automatic system was designed, based on a preliminary concept, to measure raw material's volume. It was part of a design project of a new raw material warehouse and conveyors for a customer of the chemical industry. In the preliminary concept, the measurement was done using 2D LIDAR scanner on rails. By measuring several slices of an object, the total volume can be calculated. The challenging cold and dusty conditions were considered in the design.

The results of this thesis include functional description of automation and mechanics, examination of the accuracy of the measurement method, 3D model exported to the factory model, master drawings and the budget survey of the necessary equipment. Based on the information, a cost estimate was created which enables the customer to decide whether to invest in the system. The plan is expected to be implemented in 2020. Future steps to further develop the design include detail design or exploring alternative technologies, such as battery-powered wireless applications.

The designed system can replace the inaccurate visual measurement with accurate automatic measurement. The results can be read in the factory automation system. The up-to-date state of the raw material amount is available for production, purchase and production planning. Decisions can be made at the right time based on the actual amount of raw material in stock.

The theoretical part consists of the operation of the measuring device, a 2D LIDAR scanner, and the mechanism and automation of linear motion. In the functional part, the selected methods were applied to basic design, 3D modeling, and functional descriptions of automation and mechanics. The references of the thesis consist of literature and articles in the field, as well as information and key methods of the partners.

KEYWORDS:

LIDAR, Laser measurement sensor, automation

SISÄLTÖ

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 LÄHTÖTILANNE	9
2.1 Toimeksiantaja	9
2.2 Asiakas	9
2.3 Digitalisaatio	9
2.4 Tietoperusta	10
3 LIDAR-TEKNIikka	11
3.1 Tausta	11
3.2 Skannerin ominaisuudet	11
3.3 Mittaustulosten analysointistrategia	12
3.4 Skannauksen rajat xyz-koordinaatistossa	14
3.5 Mittaustarkkuus ja nopeus	14
3.6 Skannerin optiikan suoju	17
4 LINEAARISEN LIIKKEEN MEKANIikka	18
4.1 Mekaniikan suunnittelu	18
4.2 Tukirakenteet	19
4.3 Kaapelit	20
5 TULOKSET	21
5.1 Automaation toiminnan kuvaus	21
5.2 Mekaniikan toiminnan kuvaus	21
5.3 3D-malli ja piirustukset	22
5.4 Kustannukset	23
6 KOHTI TOTEUTUSTA	24
LÄHTEET	25

KAAVAT

Kaava 1. Lidar-sensorin ja kohteen välimatka (Cameron 2017).	11
Kaava 2. Hihnavoima (SKS 2012).	18

KUVAT

Kuva 1. Pulssi ja remissio (SICK 2016).	12
Kuva 2. Hiukkassuodatus monikaiulla (SICK 2016).	13
Kuva 3. LIDAR-anturin paikka (sininen) ja mittausalue 110° (punainen).	14
Kuva 4. Mittauskohteen epätasaisuus.	17
Kuva 5. Pölyltä suojattu skannerin huoltotila, jossa on hammashihnan vetopää ja tilaa kaapeleille.	19
Kuva 6. Taittopää, skanneri ja vaunu. Koteloointi piilotettu kuvasta.	22
Kuva 7. 3D-malli tuotuna raaka-ainevaraston malliin, josta on näkyvissä mittauskohde ja väliseinät.	23

TAULUKOT

Taulukko 1. Tarkkuuden vertailu 1 metrin tarkasteluvälillä.	16
---	----

LYHENTEET

Laser	Light Amplification by Stimulated Remission of Radiation, laite, joka tuottaa valoaaltoja, joilla on sama suunta, taajuus ja pituus (Miloni & Eberly 2010)
LIDAR	Light Detecting and Ranging, optinen kaukoluotaustekniikka (Karp & Stotts 2013)
LMS	Laser measurement sensor, lasersensori (SICK 2016)

1 JOHDANTO

Tämä toiminnallinen opinnäytetyö on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa suunnitellaan kemianteollisuuden asiakkaalle uusi raaka-ainevarasto ja kuljettimet. Työ on rajattu raaka-aineen tilavuuden mittauksen tutkimiseen. Suunnitteluprosessi rajattiin konseptisuunnitteluun ja perussuunnitteluun. Asiakasyrityksellä on jo olemassa raaka-ainevarasto, joka vastaa rakenteeltaan uutta suunnitelmaa.

Asiakasyrityksen nykyisissä varastoissa raaka-aineiden tilavuus on arvioitu silmämääräisesti tarvittaessa. Ongelmia ovat epätarkka mittausmenetelmä ja erittäin vaikeat olosuhteet pölyävän raaka-aineen ja kylmän hallirakenteen takia. Järjestelmältä vaaditaan, että sen pitää olla automaattinen ja tarkka olematta herkkä pölylle tai jäälle. Komponenttien on oltava likaa, korroosiota ja pakkasta kestäviä.

Toimeksiannossa oli määritelty suunnittelun pohjaksi alustava konsepti, jossa 2D-laserkeila liikkuu lineaarisesti kiskoja pitkin raaka-ainevaraston läpi. LIDAR on laserskannaustekniikka, joka mahdollistaa materiaalivirran tilavuuden mittauksen. Mittaustulos saadaan automaatiojärjestelmästä tuotannon, hankinnan ja tuotannosuunnittelun käyttöön. Päätökset voidaan tehdä oikeaan aikaan perustuen todelliseen varastossa olevaan raaka-aineen määrään. Tuotannon työntekijöiden tarve olla tilassa vähenee. Analysointi ja ennustettavuus tehostavat tuotantoprosessia ja yrityksen kilpailukykyä.

Työssä suunniteltu sovellus poikkeaa perinteisistä LIDAR-sovelluksista, joissa 2D-laseranturi asennetaan kiinteästi raaka-ainekuljettimen yläpuolelle ja kohdistetaan kuljettiin, jolla raaka-aine liikkuu. Ulkotiloissa voidaan käyttää dronea, johon on kiinnitetty 3D-laseranturi. Asiakkaan kohde on sisähalli, joten drone on poissuljettu. Mittausta ei ole myöskään tarkoituksenmukaista tehdä kuljettimen yläpuolelta. Asiakkaan tarpeisiin räätälöitiin lineaarisesti liikkuva 2D-laserskannaussovellus.

Raaka-ainevarasto koostuu kuudesta vierekkäisestä bunkkerista, jotka on erotettu väliseinillä. Katon ja väliseinien väliin jää tilaa skannausjärjestelmälle. Kunkin bunkkerin raaka-aineen tilavuus halutaan tietää erikseen. Varaston katossa olevasta raaka-ainekuljettimesta pudotetaan syöttökärsän avulla eri raaka-aineita eri bunkkereihin. Bunkkereita tyhjennetään satunnaisin väliajoin ympäri vuorokauden.

Työssä selvitettiin sopiva tapa mitata raaka-aineen tilavuutta varastossa, suoritettiin perussuunnitteluvaihe ja koottiin tiedot työn kustannusarviota varten. Mittausmenetelmän

tarkkuutta on tarkasteltu laitteiden suorituskyvyn ja olosuhteiden näkökulmasta. Tarkastelun perusteella raaka-aineen tilavuutta bunkkerissa voidaan mitata 2D-laserskannaustekniikalla tarvittavalla tarkkuudella ja lineaariliike voidaan toteuttaa hammashihnavedolla. Mittapiirustusten avulla on saatu toimittajilta tarjoukset komponenteista. Kustannusarvion perusteella asiakas tekee päätöksen järjestelmän hankinnasta tai jatkokehittämisestä.

Tekstissä käsitellään LIDAR-tekniikan ja automaation teoria ja suunnittelu, minkä jälkeen käsitellään mekaniikan teoria ja suunnittelu lineaariliikkeestä, hammashihnavedosta ja kaapeloinnista. Tuloksissa esitellään automaation ja mekaniikan toiminnankuvaukset sekä 3D-mallinnus. Tulokset, jatkokehitysehdotukset ja riskit ovat lopetusluvussa. Lähdeaineisto koostuu laitetoimittajien ohjekirjoista, alan kirjoista ja artikkeleista. Laitetoimittajat valikoituivat asiakkaan ja toimeksiantajan olemassa olevien verkostojen perusteella. Työelämäohjaajien kokemuksen avulla lähdeaineistoa voitiin soveltaa työhön sopivaksi.

2 LÄHTÖTILANNE

2.1 Toimeksiantaja

Pöyry tarjoaa konsultoinnin ja suunnittelun palveluita kansainvälisesti teollisuus-, infra- ja energiasektoreilla. Yrityksen on perustanut Jaakko Pöyry vuonna 1958. Toiminta on kasvanut Pohjoismaista globaaliksi kuudelle mantereelle. Työntekijöitä oli 5500 henkeä vuonna 2018. Keväällä 2019 Pöyry yhdistyi ruotsalaisen ÅF:n kanssa ja muodostaa nyt 17 000 pohjoismaisen osaaajan keskittymän. Vuoden 2019 lopussa julkaistiin yrityksen uusi brändinimi, AFRY. (Pöyry 2019, Lybeck 2004.)

2.2 Asiakas

Opinnäyteyön tilaaja, toimeksiantajan asiakas, on kemianteollisuuden yritys. Raaka-ainevaraston laajennussuunnitelman yksi osa-alue on raaka-aineen määrän mittaus varastossa. Tällä hetkellä määrä arvioidaan varastotilassa visuaalisesti tuotannon työntekijöiden toimesta. Raaka-aine on erittäin pölyävää. Hallissa vallitsevat samat lämpötila- ja kosteusolosuhteet kuin ulkona. Järjestelmä suunnitellaan näihin olosuhteisiin sopivaksi. Mittaustulokset tallentuvat tehtaan automaatiojärjestelmään.

2.3 Digitalisaatio

Mittauksen automatisoinnin hyöty on, että tehtaan raaka-ainevaraston ajantasainen tilanne on jatkuvasti tuotannon, sekä hankinta- ja tuotannosuunnitteluosastojen käytävissä. Silmämääräinen epätarkka mittausmenetelmä poistuu ja tilalle tulee mittaustekniikka, joka on paitsi tarkempi, sen tuottamia tuloksia analysoimalla myös ennakointi nopeutuu ja helpottuu. Tämä tehostaa tuotantoprosessia ja yrityksen kilpailukykyä. Raaka-aineen hankintapäätöksiä voidaan tehdä oikea-aikaisesti perustuen todelliseen varastossa olevaan määrään. Kehityssuunta kytkeytyy digitalisaation megatrendiin. (Heiskanen 2017.)

2.4 Tietoperusta

Työssä käytetään ammattikirjallisuutta, artikkeleja ja komponenttivalmistajien antamia tietoja laser-skannausjärjestelmän ja mekaniikan suunnitteluun. Niihin pohjautuen järjestelmän toiminnalle laaditaan opinnäytetyössä sanallinen toiminnankuvaus. Lähdeaineistosta poikkeavan tästä sovelluksesta tekee skannerin liikuttaminen lineaarisesti. Perinteinen teollisuuden skannausjärjestelmä on kiinteästi asennettu esimerkiksi raaka-ainekuljettimelle. Tällaisessa sovelluksessa 2D-skanneri pysyy paikallaan ja kohde liikkuu. Tässä työssä ei ole asiakkaan kannalta oleellista mitata raaka-ainetta kuljettimella. Suunnittelu on toteutettu yhdessä automaation ja mekaniikan työelämäohjaajien kanssa. Sovellus on räätälöity asiakkaalle.

3 LIDAR-TEKNIikka

3.1 Tausta

Lyhenne LIDAR muodostuu sanoista Light Detecting and Ranging. Se on kaukoluotaustekniikka, jolla mitataan kohteen etäisyyttä. Laserpulssin lähettämisen ja takaisin heijastuvan signaalin välinen aika ilmaisee välimatkan. Se muistuttaa Sonar-tekniikkaa, jossa signaalina on ääniaalto, ja Radar-tekniikkaa, joka hyödyntää radioaaltoja. LIDAR keksittiin 1960-luvulla laserin keksimisen jälkeen. Laser on valoa, jonka aalloilla on sama suunta, taajuus ja pituus (Miloni & Eberly 2010). LIDAR-sensori mittaa aikaa, mikä laser-säteeltä kestää liikkua kohteeseen ja siitä takaisin sensoriin. Välimatka sensorin ja kohteen välillä saadaan valon nopeudesta ja käytetystä ajasta. (Karp & Stotts 2013; Cameron 2017.)

$$d = (Et * c)/2$$

Kaava 1. Lidar-sensorin ja kohteen välimatka (Cameron 2017).

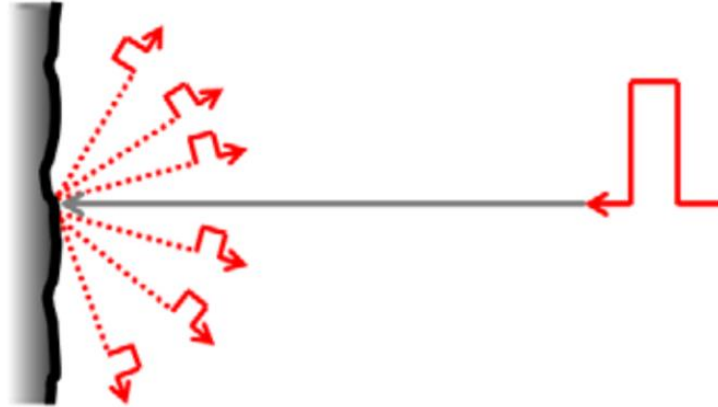
Tekniikka on ollut paljon käytössä arkeologiassa. Sen avulla on löydetty puiden, rakennelmien, veden tai maan peittämiä alueita. Sitä on hyödynnetty ilmakehätutkimuksessa kaasujen mittaukseen, sekä metsien puustotutkimukseen. Robotiikassa ja autonomiisissa laitteissa, kuten autoissa hyödynnetään LIDAR:ia kohteen tai ympäristön kuvantamiseen. (Blakemore 2019.)

Tässä työssä laserskannerilla tarkoitetaan Erwin Sickin kehittämää 2D LIDAR-tekniikkaa käytävää optista anturia, mitä käytetään kestäväyytensä vuoksi paljon robotiikassa. Esimerkkinä sääolosuhteiden siedosta on tutkimus, jossa sitä käytettiin Nomad-robotissa, mikä tutki Antarktista tammikuussa 2000. (Smith 2001.)

3.2 Skannerin ominaisuudet

Anturi lähettää näkymätöntä infrapunalaservaloa, joka on ympäristöstä riippumatonta. Se toimii myös pimeydessä. Pyörivä peili heijastaa valopulssit horisontaalisesti, jotka mittaavat ympäristön ääri viivoja tasokoordinaatistossa. Tulokseen vaikuttaa skannerin suorituskyvyn lisäksi kohteen koko ja remissio, eli havaittavan kohteen pinnan kyky

heijastaa energiaa (Kuva1). Palaava valo muodostaa paluupulssin. Tässä sovelluksessa remissio on yli 10%.



Kuva 1. Pulssi ja remissio (SICK 2016).

Skannattavan kohteen on oltava vähintään yhtä suuri, kuin lasersäteen halkaisija, jotta se voi heijastaa kaiken sen energian takaisin. Lasersäteen halkaisija kasvaa, mitä kauemmas se etenee. Lähtiessä 10 mm säteen halkaisija 30 metrin etäisyydellä on noin 350 mm. (SICK 2016.)

Käyttötarkoitus ja kohteen olosuhteet määrittävät laitteen valinnan. Olosuhteet ovat ulkoilman kaltaiset lämpötilan suhteen. Ilmassa voi olla paljon raaka-ainepartikkeleja, jotka aiheuttavat mittaukseen häiriötä. Monikaikutekniikka lähettää viisi pulssia samanaikaisesti, mikä erottaa häiriöt, kuten pölyn tai sumun halutusta kohteesta.

3.3 Mittaustulosten analysointistrategia

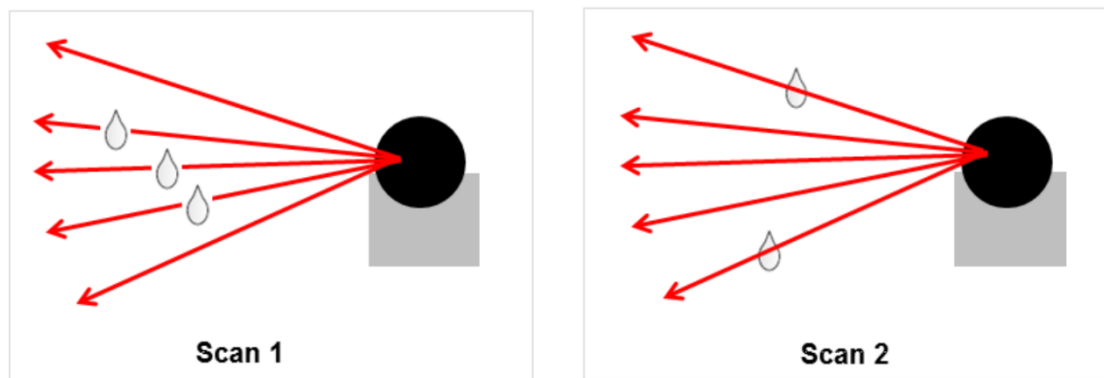
Tässä työssä halutaan mitata kohteen, raaka-aineen, tilavuutta koko alueelta tasaisella tarkkuudella. Asetukset, kuten resoluutio ja tarkkuus määritellään SOPAS-konfigurointiohjelmistossa. Sen avulla luodaan myös analyysikentät. Ne jakavat mittausalueen eri tavoin analysoitaviin osiin. Niiden koko ja muoto räätälöidään halutuiksi seurantatilanteen mukaan. Niillä voidaan reagoida muuttuviin tilanteisiin. (SICK 2016.)

Analyysikentällä on kehys, jolla määritetään ehdot, jotka kytkevät halutun lähdon, esimerkiksi pysähtymisen, häilytyksen tai muun reaktion. Kehys sisältää mittausalueen analysointistrategian ja mukauttaa skannerin tilanteen vaatimaan tarkkuuteen. Kehyksen

määrittäviä parametreja ovat myös tulot, jotka vaihtavat tilan aktiivisen ja passiivisen välillä. (SICK 2016.)

Analyysikenttiä voidaan määrittää useita erilaisilla asetuksilla ja suodattimilla. Suodattimet optimoivat kohteen havaitsemisen ja etäisyyden tulkinnan, eli mittaustuloksen. Niillä vähennetään ei-toivottuja tuloksia. Vesipisara tai pölyhiukkanen heijastaa osan valosta takaisin, mutta osa siitä heijastuu vasta seuraavasta objektista. Monikaikuanalyysi osaa hyödyntää tätä, ja rekisteröi järjestyksessä toisena palaavan pulssin.

Kohteen kannalta tarpeellinen on hiukkassuodatin, jonka ollessa käytössä herkkyys pölylle ja vesipisaroille vähenee. Signaali tulkitaan satunnaiseksi, kun se ei toistu samassa paikassa (Kuva 2).

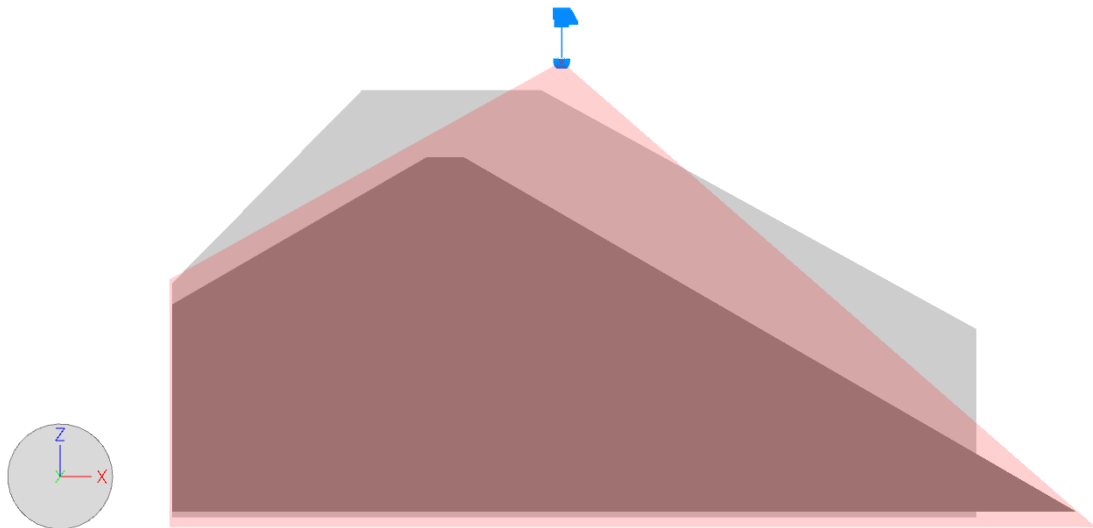


Kuva 2. Hiukkassuodatus monikaiulla (SICK 2016).

Kohteessa voitaisiin käyttää esimerkiksi seuraavaa strategiaa: Analyysikenttä 1 kattaa koko mitta-alueen ja hiukkassuodatus on käytössä. Kenttä on aktiivinen, koska raaka-aineen purku ei ole käynnissä. Tämä on oletustilanne, jossa skanneri mittaa tilavuutta. Analyysikenttä 2: Bunkkeria tyhjentämään tullut kauhakuormaaja aktivoi tämän kentän, kun se on alueella vähintään määritetyn vasteajan verran. Nyt käyttöön tulee eri suodattustyyppi, joka ei huomioi kauhakuormaajaa. Tämä tulos ei ole yhtä tarkka. Kun kuormaaja poistuu, aktivoituu jälleen analyysikenttä 1. Analyysikenttä 3 aktivoituu ja antaa virheilmoituksen, jos skanneri jostain syystä joutuu pois paikoiltaan. Referenssinä oikeasta paikasta käytetään jotakin suoraa tasoa, jonka kulma ei muutu.

3.4 Skannauksen rajat xyz-koordinaatistossa

X-akselin vasemmassa reunassa rajaksi opetetaan hallin takaseinä, oikealla rajoittuu 110 asteen näkökentän reunaan saakka. Y-akselilla 90,5 metrin matkalla on yhteensä kuusi bunkkeria, joista neljän pituudet ovat 11,7 metriä ja kahden 19,2 metriä. Aloitus- ja lopetuspisteet liikeradan molemmissa päädyissä saadaan moottorin absoluuttianturilta millimetrejä vastaavien pulssien arvoista. Rajat varmistetaan lähestymiskytkimillä. Z-akselilla alaraja, eli nollataso on hallin lattia, ja korkein kohta 11,65 metriä. Z-akseli kalibroidaan bunkkerin ollessa tyhjä. (Kuva 3.)



Kuva 3. LIDAR-anturin paikka (sininen) ja mittausalue 110° (punainen).

3.5 Mittaustarkkuus ja nopeus

Skannaustaajuus ilmaisee montako valopulssia skanneri lähettää sekunnissa. Arvo on säädettävissä ja se on mallista riippuen 25-100 Hz. Mittaustulos halutaan rekisteröidä metrin välein, eli 100 metrin matkalta pulsseja halutaan vähintään 100 kappaletta. Esimerkiksi 25 hertsin taajuudella voisi mittausmatkaan kulua vain 4 sekuntia. Vaunun nopeutta kiskoilla ei kuitenkaan sanele vain mittaustarkkuus, vaan myös hammashihnamekanismi. Kun lasketaan todellista mittausaikaa otetaan huomioon myös kiihdytys- ja hidastusajat.

Monikierros-absoluuttianturi on akseliin kiinnitettävä pulssianturi, joka ilmaisee akselin pyörimät kierrokset ja kulman. Käydyt kierrokset kertovat skannerin etenemän matkan. Anturi kytketään Profibus DP-väylään. Näin paikkatieto saadaan automaatiojärjestelmästä. Absoluuttianturin pulssimäärä eli resoluutio ilmoitetaan bitteinä. Luku kertoo, kuinka monta pulssia anturi antaa yhden kierroksen aikana. Vetävän pyörän kehän pituus jaettuna pulssimäärällä kertoo kahden pulssin välimatkan. Esimerkiksi tässä soveluksessa resoluutioltaan 10 bitin anturin tarkkuus on noin 1mm.

Mitatun alueen leveys on maksimissaan 30 m ja kulma 110°. Sensorin maksimi avautumiskulma on 190°. Valitsemalla oikea kulmaresoluutio, saadaan sopiva tarkkuus x-akselilla. Jos kulmaresoluutio on esimerkiksi 1°, x-akselin mittaussväli on noin 160 mm.

Z-akselin tarkkuuden selvittämisessä käytetään skannerikohtaisia virheen arvoja. Vertailu suoritettiin kahdelle varteenotettavalle SICKin sensorille. Etäisyys skannerista lattiaan on pisimmillään 20 metriä. LMS511-20100-sensorin systemaattinen virhe 10–20 metrin etäisyydellä on ± 35 mm. LMS511-20190-sensorin tarkkuudeksi on ilmoitettu ± 3 %. (Taulukko 1). Arvo on laskettu tilanteessa, jossa bunkkeri on täynnä. Tarkasteluväli on yksi metri.

Suorituskyvyn lisäksi tarkkuuteen z-akselilla vaikuttaa y-akselin mittaussväli. Mitattavan kohteen pinta ei ole aina tasainen, vaan siihen muodostuu kerrostumia (Kuva 4). Teoriassa metrin välein otettava mittauss voi osua aina kerrostuman korkeimpaan tai matalimpaan kohtaan. Mittaustulos voi vaihdella sen mukaan kummasta suunnasta mittauss tehdään. Virhettä voidaan vähentää ottamalla kahden erisuuntaisen mittauksen keskiarvo.

Taulukko 1. Tarkkuuden vertailu 1 metrin tarkasteluvälillä.

Sensori	LMS511- 20100	LMS511- 20190
Tilavuus tarkasteluvälillä (m ³)	209,4	209,4
ilmoitettu tarkkuus	±35 mm	±3 %
vertailutarkkuus (m ³)	208,35- 210,45	203,1- 215,7
vertailutarkkuus (±%)	0,5	3



Kuva 4. Mittauskohteen epätasaisuus.

3.6 Skannerin optiikan suojus

Laserskannerit ovat suurimmaksi osaksi huoltovapaita. Laserskannerin optiikan suojus on hyvä puhdistaa säännöllisesti. Likaantuminen vähentää lasersäteen lähettämää ja vastaanottamaa energiaa ja heikentää suoritustehoa. Skannatun kohteen remissio tulkitaan matalammaksi mitä se on. Tästä syystä epäpuhtaustasoa tarkistetaan jatkuvasti ajon aikana ja likavaroitus lähetetään, tai mittaus jopa sammutetaan liiallisen likaantumisen seurauksena. Likaantumista hidastamaan skanneriin asennetaan mekaaninen pölysuoja. Skanneri voidaan puhdistaa sen ollessa huoltotasolla. Huoltotasoksi suunniteltiin pölysuojattu tila rakennuksen päädyssä, jossa skanneri on mittausten välisen ajan.

4 LINEAARISEN LIIKKEEN MEKANIikka

4.1 Mekaniikan suunnittelu

Suunnittelun alussa tiedettiin, että skanneria halutaan liikuttaa lineaarisesti sisätilassa noin 100 metriä, rakennuksen päästä päähän. Varastossa on raaka-ainekuljetin, mutta skanneria ei haluttu kytkeä siihen, koska mittaus- ja kuljetusprosessi haluttiin pitää erillisinä. Arvioitiin, että sopiva ratkaisu on omilla kiskoilla kulkeva vaunu. Skanneri on kiinnitetty vaunuun niin, että mitta-alue kattaa esteettä halutun alueen, eli kaiken bunkkerissa olevan raaka-aineen (Kuva 3).

Vaihtoehtoja liikkeen tuottamiseen olivat ketju-, vaijeri- ja hammashihnaveto, joiden tarkoitus on siirtää voima pyörivältä akselilta toiselle. Niiden toimintaperiaatteista tehtiin luonnoksia. Hyviä ja huonoja puolia vertailtiin. Koska veto- ja taittopään liike haluttiin synkronoida, pelkkään kitkaan perustuvat hihnavedot jätettiin pois vertailusta. Linearijohde ja hammastanko jätettiin pois vertailusta pitkän etäisyyden ja likaantumisherkkyysden takia. Paras hallittavuus veto- ja taittopään välille saadaan ketju- tai hammashihnavedolla. (Childs 2004.)

Hammashihnavedon yleisiä etuja verrattuna ketjuvetoon ovat asennettavuus, huollettavuus ja käytännöllisyys pitkällä akselietäisyydellä. Haittoja ovat rajoitettu voima suhteessa nopeuteen ja herkkyys ympäristölle, kuten lämmönvaihtelulle ja voiteluaineille. (Childs 2004.) Lisäksi hihnan ollessa paikallaan sen päälle kerääntyy likaa, ellei sitä koteloida. Hammashihnaveto valittiin siksi, että voimaa ja nopeutta vaaditaan sovelluksessa suhteellisen vähän. Hihna on kevyt ja kannateltavissa pitkällä matkalla.

Oikean hihnan valintaa varten laskettiin arvioitu hihnavoima (Kaava 2). Kitkakertoimena käytettiin liukukitkaa kuivalla pinnalla polyuretaanin ja normaaliteräksen välillä. Hihnava-linta riippuu hihnavoimasta ja -nopeudesta, hihnapyörän hammasluvusta ja kuormituksen varmuuskertoimesta. (SKS 2012.) Toimittajalta pyydettiin tarjous kokonaisuudesta, joka käsittää hammashihnan ja -pyörät, liukukiskot, vaihdemoottorin ja lisäosat. Tarjouksen hihna- ja pyörävalinta olivat oikeaa kertaluokkaa suhteessa omaan arvioon toimittajan taulukoiden ja kaavojen pohjalta.

$$F_u = (m \times a) + (m \times g \times \mu)$$

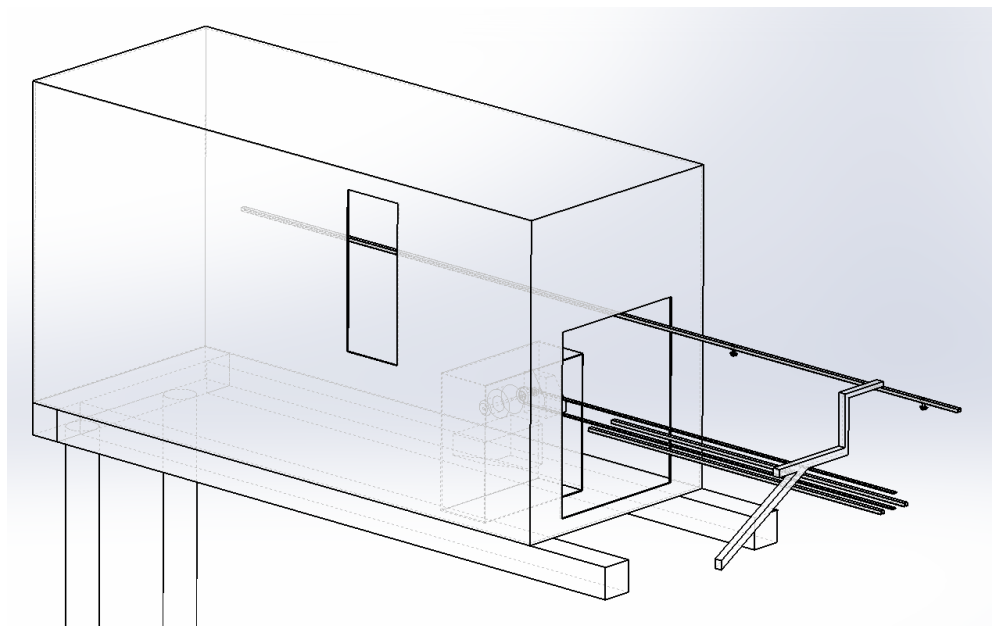
Kaava 2. Hihnavoima (SKS 2012).

4.2 Tukirakenteet

Teräsosien massat laskettiin hinta-arviota varten. Ruostumattomia teräsosia ovat siirtovaunu pyörineen, vaunukuljetuskiskot, kaapelikiskot, hammashihnojen kiskot ja kotelointi, hammaspyörien taitto- ja vetopäät, moottoripeti ja kannakkeet.

Skanneri ja sitä kuljettava vaunu painavat yhteensä noin 40 kg. Koko järjestelmän yhteenlaskettu massa on arvion mukaan 3000 kg. Kantava rakenne tulee olemaan joko teräksinen huoltokäytävä tai betonirakenne. Asennuksessa huomioidaan, että hihna ja kiskot ovat vaakatasossa. Hihnan koteloinnin pitää olla täysin tiivis. Kaikkien rakenteen osien tulee olla joko täysin tiiviitä tai avoimia. Useita tonneja painava järjestelmä tullaan tekemään tilaan jälkiasennuksena pulttiliitoksilla.

Skannerin ja hammashihnan vetopään huoltotila sijoitetaan rakennuksen päätyseinän ulkopuolelle. Sen etuna on, että skanneri ja kaapeli voidaan pitää pölyttömässä tilassa mittausten välillä. Tila on kooltaan 3x4x8 metriä. Siinä on putkipalkkirunko, vanerivuoraus ja sama verhoukseen kuin julkisivulla. Sinne on käynti porrastasanteelta, jolta pääsee kuljettimen huoltokäytävälle. (Kuva 5.) Huoltotila tuetaan toisesta päädyistä ulkoseinän betonirakenteen päälle ja toisesta maahan samanlaisilla teräspilareilla kuin porrastasanne. Jalkojen betonivalun louhinta tehdään samaan aikaan muun louhinnan kanssa, vaikka skannausjärjestelmä tehdään jälkiasennuksena.



Kuva 5. Pölyltä suojattu skannerin huoltotila, jossa on hammashihnan vetopää ja tilaa kaapeleille.

4.3 Kaapelit

Järjestelmän data- ja energiakaapelit ovat pituudeltaan 100 metriä ja niiden paino on yhteensä 80 kg. Kaapelit voidaan kuljettaa omaa kiskoa pitkin. Kaapeli kiinnitetään kolmen metrin välein kiskoon. Lenkkejä on yhteensä 30. Kokonaan auki oleva kaapeli on 100 m pitkä 90 metrin matkalla. Kiinnivedetyn kaapelin tilantarve on 1,7x6 metriä.

Aluksi huoltoaseman koko määräytyi kaapelipun mukaan. Datan siirto voisi olla langatonta ja skanneri olla akkukäyttöinen. Etäohjatuille teollisuussovellukselle ankarissa oloissa langaton ratkaisu todettiin liian epävarmaksi. Siksi sitä ei tutkittu tässä työssä. Myöhemmin huomattiin, että langattoman vaihtoehdon selvitys olisi tarpeen, koska huoltokopin teettämisen kustannukset ovat 10-20% koko kustannuksista.

Raakadata kulkee skannerilta Ethernet-kaapelin kautta logiikkamoduuliin, jossa on Profibus DP-liitäntä tuotannon kenttäväylään. Kaapelin halkaisija on noin 6 mm. Ethernet-kaapelin pituus on 100 metriä. Jos välimatka on yli 100 metriä, tiedonsiirron yläraja ylittyy. Kaapelia valittaessa otettiin huomioon kaapelin taivutuksen kestävyys.

Energiakaapelin mitoitus tehtiin laskemalla jännitehäviö kaapelin päästä päähän. Sopiva vaihtoehto löytyi valitsemalla kaapeli, jolla 4 voltin jännitehäviö ei ylity. Sen halkaisijan pinta-ala on 6 mm^2 . Laskussa otettiin huomioon kuparijohtimen silmukkaresistanssi. Olosuhteisiin sopii kumilattakaapeli.

Sulakkeen mitoituksessa huomioitiin oikosulku tapauksissa 24 V syöttöjännitteen syöttämä oikosulkuvirta. Sulakkeen pitää palaa mahdollisimman nopeasti. Sulakkeen riittävän nopea palaminen toteutuu, kun oikosulkuvirta on yli 2,5 kertaa sulakkeen nimellisvirta.

5 TULOKSET

5.1 Automaation toiminnan kuvaus

Skannerin liike 90,5 metrin matkalla on rajoitettu päädyissä induktiivisilla rajakytkimillä. Liikealue on määritelty myös ohjelmallisesti. Paikkatieto saadaan absoluuttianturilta. Mittaus tapahtuu tasaisella nopeudella hallin päästä päähän ja tulos rekisteröidään yhden metrin välein. Ennalta määrätyissä kohdissa luetaan kasan poikkileikkauksen pinta-ala automaatiojärjestelmään. Pinta-alasta lasketaan mittausvälillä oleva raaka-aineen tilavuus. Näin saadut tilavuudet lasketaan yhteen bunkkerikohtaisesti, jotta saadaan aina yhdessä bunkkerissa oleva kokonaistilavuus.

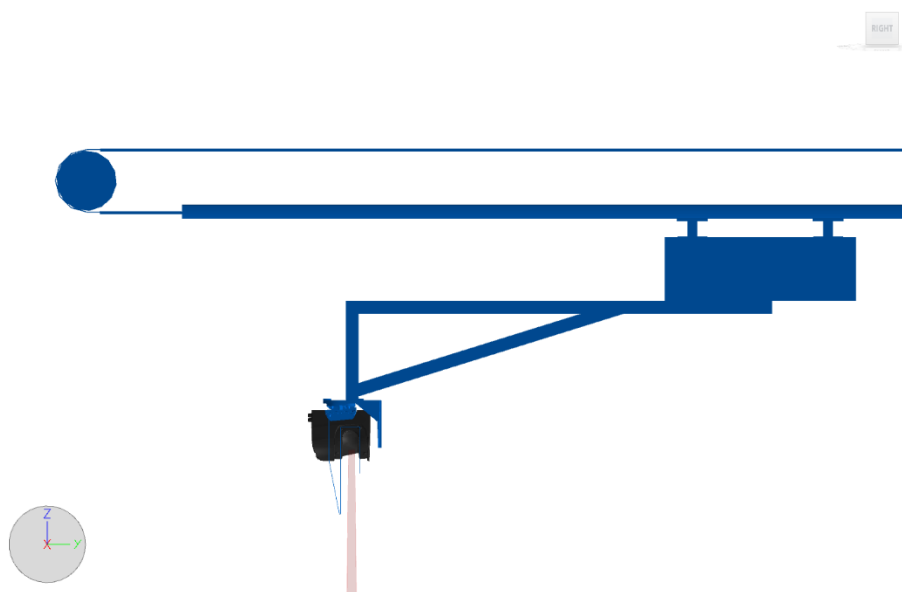
Raaka-aine puretaan bunkkereihin purkukärsän avulla, minkä paikka tunnistetaan ohjelmallisesti. Bunkkeri, jossa purkukärsä on, voidaan mitata. Silloin oletetaan, että kasa on saman korkuinen kärsän kohdalla kuin sen vieressä. Tämä osuus tehdään automaatiojärjestelmässä. Mittausta ei suoriteta lainkaan silloin, kun bunkkeria täytetään. Bunkkerin tyhjennys tapahtuu kauhakuormaajalla. Tyhjennyksen aikana mittaus voidaan tehdä, ja kuormaajan aiheuttama virhe mittauksessa huomioidaan. Mittausten välissä skanneri ajaa sisälle pölysuojattuun huoltotilaan (Kuva 5).

Asiakkaan käyttämä automaatiojärjestelmä on Siemens PCS7. Kenttäväylä on Siemensin Profibus DP, johon skannerissa ei ole suoraa liityntää. Skanneri kytketään Ethernet-yhteydellä SICKin räätälöimään logiikkamoduuliin. Logiikkamoduuliin on laadittu vakio-ohjelma, BAM100, joka muuttaa skannerilta saatavan raakadatan joko mA-viestiksi tai suoraan ProfiBus DP-väylään numeeriseksi dataksi.

5.2 Mekaniikan toiminnan kuvaus

Skanneri on kiinnitetty vaunun alapuolelle, joka liikkuu kiskoilla hammashihnavedolla. Järjestelmän pituus on noin 100 metriä. Se jatkuu varaston päätyseinän ulkopuolelle huoltotasolle. Vetopää sijaitsee kiinteästi huoltotasolla. Hihnavetoa käyttää 0,55 kW:n kierukkavaihdemoottori. Absoluuttianturi, jolta paikkatieto saadaan automaatiojärjestelmään, on moottorin vetoakselilla. Taittopää on vastapäisessä päädyssä, jossa hihnaa on mahdollista kiristää. Hihna on kannateltu ja koteloitu koko matkalta.

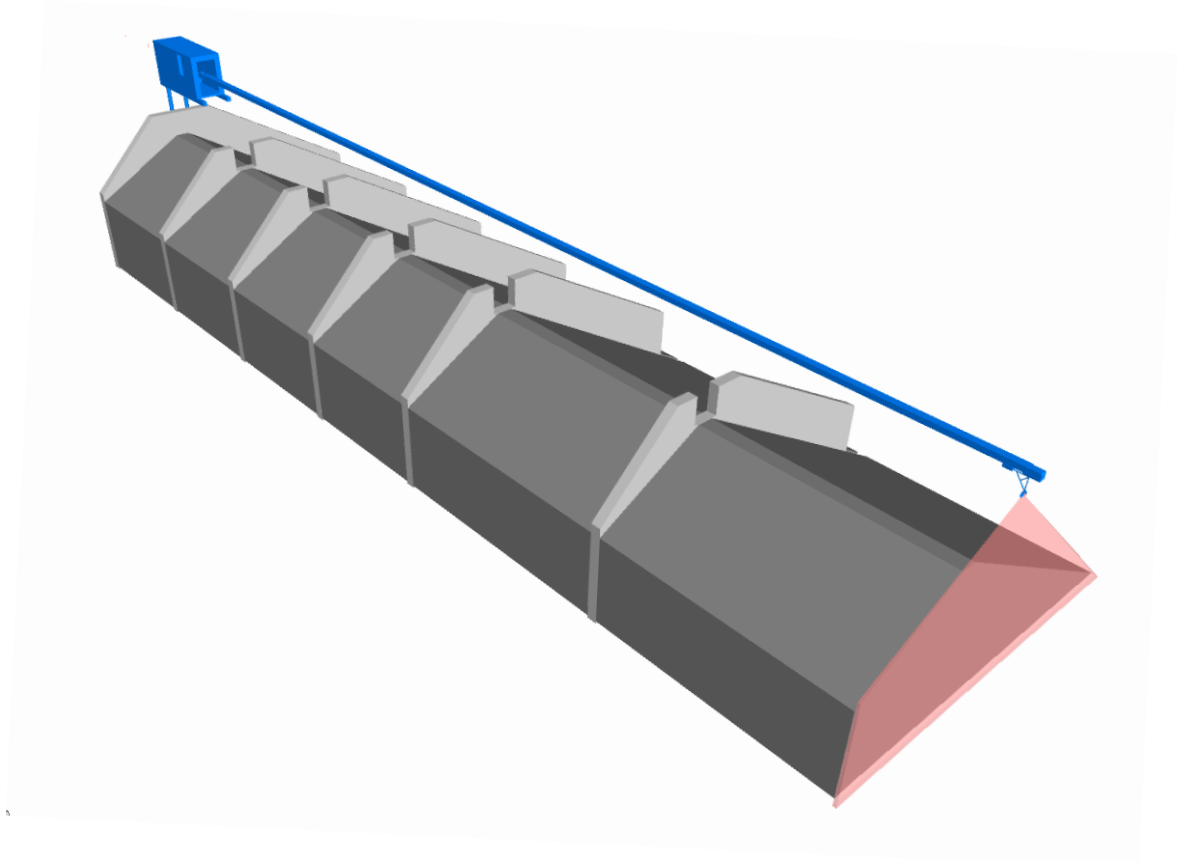
Vaunu on kytketty kiinnityspaloilla kiinteästi kiskojen välissä sijaitsevan hihnan alapuolelle, jolloin veto kohdistuu mahdollisimman keskelle vaunua. Järjestelmän asennusvaiheessa on huomioitava, että skannerin sijainti x- ja z-akseleilla on oleellinen, että näkyvyys koko kohteeseen säilyy (Kuva 3). Skanneri on kiinnitetty vaunun alapuolelle siten, että skannaus yltää mittaamaan myös taittopään alapuolelta (Kuva 6). Huoltotilassa sijaitseva hihnan vetopää pitää paikoittaa niin, että skanneri mahtuu ajamaan kokonaan huoltotilan sisälle mittausten välissä (Kuva 5).



Kuva 6. Taittopää, skanneri ja vaunu. Kotelointi piilotettu kuvasta.

5.3 3D-malli ja piirustukset

Järjestelmästä tehtiin 3D-malli Solidworks-ohjelmalla. Navisworks-ohjelmassa malli sovitettiin yhteen raaka-ainevaraston mallin kanssa (Kuva 7). Malli havainnollistaa järjestelmän toimintaa ja sen pohjalta tehtiin perussuunnittelupiirustukset ja saatiin laitetoimittajilta alustavat tarjoukset. Jos suunnittelu etenee detaljisuunnitteluvaiheeseen, mallia voidaan käyttää apuna työpiirustusten tekemisessä.



Kuva 7. 3D-malli tuotuna raaka-ainevaraston malliin, josta on näkyvissä mittauskohde ja väliseinät.

5.4 Kustannukset

Tavoitteena oli tehdä järjestelmästä kustannusarvio $\pm 20\%$:n tarkkuudella. Hankittavia laitteita ja materiaaleja vertailtiin, ja niiden suorituskykyä kohteessa tarkasteltiin. Valinnan jälkeen pyydettiin alustavat tarjoukset. Kustannusarviossa on eritelty komponentit, jäljellä oleva suunnittelutyö, sekä ohjelmointi, rakennus- ja asennustyöt. Tavoite arvion tarkkuudesta toteutui.

Kustannusarviota tehtäessä huomattiin, että yksi osio käsitti noin 20% koko summasta. Tämä osio on huoltotila (Kuva 5). Sen etuina on, että skanneri, hammashihnan vetopää ja kaapelit pysyvät pölyltä suojattuina. Kalliille huoltotilalle hinnoiteltiin vaihtoehto, jossa suojattuina ovat vain skanneri ja hammashihnan vetopää. Tilaa tarvittaisiin neljäsosa suurempaan tilaan verrattuna ja se voisi sijaita hallin sisäpuolella. Kaapelien kytkentä olisi hallin vastakkaisessa päädyssä, jolloin kaapeli on auki koko matkalta skannerin ollessa huoltotilassa. Nämä kaksi mahdollisuutta on eritelty kustannusarviossa.

6 KOHTI TOTEUTUSTA

Tässä toiminnallisessa opinnäytetyössä suunniteltiin automaattinen raaka-aineen tilavuuden mittausta. Alustavan konseptin perusteella oletettiin, että mittausta on mahdollista toteuttaa 2D-laserskannaustekniikalla, ja selvitys vahvisti valinnan. Selvityksen jälkeen todettiin hammashihnaveto sopivaksi tekniikaksi lineaariliikkeen tuottamiseen. Suunnitteluprosessi rajattiin konseptisuunnitteluun ja perussuunnitteluun. Vaatimuksina oli, että järjestelmän on oltava tarkka olematta herkkä lialle ja lämpötilan vaihteluille, ja että mitaustulokset ovat luettavissa tehtaan automaatiojärjestelmästä.

Suunnittelun tavoitteena oli tuottaa syksyn 2019 aikana dokumentit, joilla voidaan tehdä järjestelmästä kustannuslaskelma. Tavoitteeseen päästiin annetussa aikataulussa. Tulosten perusteella asiakas tekee päätöksen investoinnista. Työssä esitetään yksi mahdollinen toteutustapa, jonka edut on perusteltu, ja joka on kehityskelpoinen.

Suunnitelmassa ilmeni riskejä, jotka kohdistuvat hammashihnavetoon, tukirakenteisiin ja huoltotilaan. Polyuretaanihihnan soveltuvuutta tilaan ei tiedetä. Hihnan pituus ja tuenta ovat haasteita, vaikka hihnaveto voitti muut vaihtoehdot, kuten ketjun ja vaijerin, vertailussa. Suuri osa järjestelmän kustannuksista koostuu massiivisesta huoltotilasta. Sille esitettiin edullisempi vaihtoehto. 3D-malli ja piirustukset sisältävät alkuperäisen suunnitelman mukaisen huoltotilan.

Työ on ollut tekijän mielestä kiinnostava, paljon oppimista tapahtui ja työ pysyi aikataulussa. Tarvittavat ohjelmat ja välineet olivat käytettävissä. Työelämäohjaajat auttoivat päätösten tekemisessä, sekä käyttökelpoisen ja luotettavan lopputuloksen saavuttamisessa.

Suunnitelman testaus alkaa syksyllä 2020. Detaljisuunnitteluvaihe, työpiirustukset, testausjärjestelmä ja ohjelmointi ovat luontevia jatkokehitysvaiheita tai opinnäytetyömahdollisuuksia. Lisätutkimusaiheita ovat skannauksen mittaustarkkuus, lämpölaajenemisen vaikutus, sekä vastaava sovellus akkukäyttöisenä ilman kaapeleita.

LÄHTEET

- Blakemore, Erin 2019. Lasers are driving a revolution in archaeology, National Geographic, Viitattu 29.10.2019
<https://www.nationalgeographic.com/culture/archaeology/lasers-lidar-driving-revolution-archaeology/>
- Cameron, Oliver 2017. An Introduction to LIDAR: The Key Self-Driving Car Sensor, Medium, Viitattu 29.10.2019
<https://news.voyage.auto/an-introduction-to-lidar-the-key-self-driving-car-sensor-a7e405590cff>
- Childs, Peter 2004. Mechanical Design, Butterworth-Heinemann
- Heiskanen, Veli-Matti 2017. Robotiikka ja kestävä kehitys, Viitattu 16.10.2019
<https://www.sytyke.org/kestava-kehitys/robotiikka-ja-kestava-kehitys/>
- Karp, Sherman & Stotts, Larry B. 2013. Fundamentals of Electro-Optic Systems Design: Communications, Lidar, and Imaging, Cambridge University Press, ProQuest Ebook Central,
- Lybeck, Jari 2004. Jaakko Pöyry - suomalainen sankari, Turun Sanomat, Viitattu 16.10.2019
<https://www.ts.fi/kulttuuri/kirjat/arviot/1074002091/Jaakko+Poyry++suomalainen+sankari>
- Milonni, Peter W. & Eberly, Joseph H. 2010. Laser Physics, John Wiley & Sons, Inc.
- Pöyry 2019. Tietoa meistä, Viitattu 16.10.2019
<https://www.poyry.fi/tietoa-meista>
- SICK 2016. Laser scanner Planning aids for perimeter and object monitoring. Esite. Viitattu 4.11.2019
https://cdn.sick.com/media/docs/8/38/538/Special_information_Laser_detectors_Planning_aids_for_perimeter_and_object_monitoring_en_IM0056538.PDF
- SICK 2019. LMS511-20100 pro, 2D-LIDAR-ANTURIT, Viitattu 29.10.2019
https://cdn.sick.com/media/pdf/0/40/240/dataSheet_LMS511-20100-PRO_1047782_fi.pdf
- SKS Mekaniikka 2012. Ketju- ja hihnakäytöt. Esite. Viitattu: 11.11.2019
https://assets.ctfassets.net/qp8rp917jhs/1VAoC1Dv20w60yY-mOO8ue4/7fb2240ace58ecc939ea2c9e0b7b53e8/PU_hihnak_yt_t_esite_Megadyne.pdf
- Smith, Penelope Probert 2001. Active sensors for local planning in mobile robotics, World Scientific Co Pte Ltd, ProQuest Ebook Central